

**A N-műtrágya transzformációjának
és a szerves N mineralizációjának
tanulmányozása ^{15}N stabil izotópjelzéssel I.**

**Csernozjom jellegű barna erdőtalajon
a N-formák átalakulása modellkísérletben**

LATKOVICS GYÖRGYNÉ

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A talajba adott N-műtrágyák transzformációjának tanulmányozása során hasznos információt kapunk a N-műtrágyázásnak a talaj N ellátottságára, a talaj N frakcióira kifejtett hatásáról, a talaj műtrágya közötti kölcsönhatásokról. NORMAN [7], BREMMER [1] és KORENKOV [6] a kérdés tanulmányozásánál az izotópingdikációnak, köztük a nitrogén stabil izotópja (^{15}N) felhasználásának különös jelentőséget tulajdonítanak, ugyanis a módszer lehetőséget ad a folyamatban résztvevő trágya- és talaj-nitrogén elkülönítésére, a különböző N-források hatásának egzaktabb kimutatására. A módszer úgyszintén hathatós segítséget nyújt a növényi szerves anyag maradványok dekompozíciójának, a szerves N mineralizációjának és a N-műtrágyázásnak a mineralizációra kifejtett hatása vizsgálatánál is.

YONEYAMA és YOSHIDA [12] rámutatnak, hogy a rizstermesztő országokban a N-műtrágyán kívül a rizsszalma is fontos nitrogénforrás. A Nemzetközi Rizstermesztő Kutató Intézetben (Fülöp-szigetek) tenyészedény kísérletben vizsgálták a rizs növények nitrogénfelvételét a jelzett nitrogénműtrágyából és a jelzett rizsszalmából. Számításokat végeztek az eltérő N-források nitrogénjének hasznosulására is. Kísérleteikben az $^{15}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ nitrogénje 51%-ban, a ^{15}N -jelzett rizsszalma nitrogénje 25%-ban hasznosult. Meghatározták a rizsszalmából származó ásványi N formában kimutatható nitrogénmennyiséget is. A talajba keverés után a szalma mineralizációja gyorsan megindult, s a 40. napon a szalma nitrogénjének 14%-a már ásványi N formában volt kimutatható. A 40. nap után a szalmából származó N-mennyiség alig változott, illetve egy kevéssel csökkent is. A szerzők az érlelés folyamán a talaj ásványi N-tartalmának változását is vizsgálták. A szerves anyagként adott rizsszalma csökkentette, immobilizálta a talaj ásványi nitrogéntartalmát. A N-műtrágya kedvezően befolyásolta a rizsszalma nitrogénjének mineralizációját és csökkentette a talaj-nitrogén immobilizációját.

NORMAN és WERKMAN [8] már 1943-ban szerves anyagként ^{15}N -jelzett szója növényi maradványt keverték a talajhoz és tanulmányozták a talajba vetett szója nitrogénfelvételét. Kísérleteikben a tizenegy hetes növények a szerves anyag nitrogénjének 26,5%-át hasznosították. SZUKOV [11] adatai

1. táblázat

A kísérletben alkalmazott kezelések

(1) Kezelések	(2) N-mennyiség		(3) ¹⁵ N atom %
	forrásonként	összes	
	mg N/100 g talaj		
A) Kontroll	—	—	—
B) ¹⁵ NH ₄ ¹⁵ NO ₃	—	29,31	10,234
C) NH ₄ NO ₃	—	29,65	—
D) Szerves anyag 0,4% (¹⁵ N-bab)	—	9,92	2,875
E) Szerves anyag 0,4% (¹⁵ N-angolperje)	—	11,20	6,743
F) Szerves anyag 0,4% (¹⁵ N-bab) + NH ₄ NO ₃	9,92 29,65	39,57	2,875
G) Szerves anyag 0,4% (¹⁵ N-angolperje) + + NH ₄ NO ₃	11,20 29,65	40,85	6,743

szerint szabadföldi viszonyok között végzett tenyészedeny kísérletben gyepek podzoltalajon a csillagfűt és bükköny szerves anyag maradvány nitrogénjét a tavaszi búza az első évben 16–25%-ban, a három év alatt 26–34%-ban hasznosította. SZMIRNOV és SILOVA [10] tenyészedeny kísérleteiben a N-műtrágya szintén növelte a növényi maradványok mineralizációjának mértékét és a növények szerves anyagból származó N-felvételét. A szalma viszont általában csökkentette a trágya-nitrogén felvételét. Ezt igazolták CSEREPKOV és KOCSEGAROVA [4, 5] adatai is. Baltacim, lóhere és lucerna növényi maradványok csökkentették a műtrágya nitrogénjének hasznosulását. E néhány kiragadott kutatási eredmény is rávilágít arra, hogy a talajban levő szerves anyag maradvány szerepet játszik a természetben élő növények N-ellátásában. A nitrogén felvétel viszont a talaj nitrogéntartalmától, a nitrogénműtrágyázástól jelentős mértékben függ.

A kérdés tanulmányozására tenyészedeny modellkísérletet állítottunk be és vizsgáltuk a ¹⁵N-jelzett NH₄NO₃ transzformációját a talajban, a ¹⁵N-jelzett szerves anyag ásványosodásának a mértékét, valamint a nitrogénműtrágya hatását a szerves anyag mineralizációjára.

Kísérleti anyag és módszer

A kísérlethez készthelyi csernozjom jellegű barna erdőtalajt használtunk. A talajminta a felső, szántott rétegből származott. Az átlag talajminta pH értéke 7,1, ásványi N-tartalma 2,85 mg-, a kötött NH₄-N mennyisége 15,98 mg-, míg az összes N 140,8 mg/100 g talaj. A humusztartalom 1,91%. Az ARANY-féle kötöttségi szám 36.

A tenyészedenyekbe 200 g légszáraz, 2 mm-es szitán átengedett talajt mértünk be. Nitrogénműtrágyának 30 mg N/100 g talaj adagnak megfelelő ammónium- és nitrát-csoporton jelzett, illetve jelzetlen NH₄NO₃ vegyületet használtunk. A kezeléseknek megfelelő szerves anyag a bemért talajmennyiség 0,4%-a volt. Szerves anyagnak közel azonos — 2,80–2,48%-os — N-tartalmú ledarált, légszáraz állapotú ¹⁵N-el jelzett angolperjét és babszárát használtunk, amelyet a talajjal jól elkevertünk. A növényeket előzetesen tenyészec-

dény kísérletben, jelzett N-műtrágyával neveltük. A nitrogénműtrágyát oldatban adtuk a talajhoz. A talaj nedvességtartalmát a VK_{\max} 60%-án tartottuk. A lezárt edényeket termosztátba helyeztük és 30 °C-on érleltük. A kísérlet kezeléseit három ismétlésben állítottuk be. A kezelések adatai a 1. táblázatban találhatók.

Az érlelés alatt vett mintákban meghatároztuk a talaj ásványi N-tartalmát, — a $\text{NO}_3\text{-N}$ és kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ -t BREMMER és KEENEY [2] szerint. Az utolsó mintavételnél, a 248. napon BREMMER és SHAW [3] eljárással az összes N-mennyiséget, és SILVA és BREMMER [9] módszerével a kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalmat is meghatároztuk. A talajok nitrogénfrakcióinak meghatározásával egyidőben megmértük az oldatok ^{15}N relatív gyakoriságát és ennek alapján számítottuk ki a ^{15}N -jelzett trágyából és szerves anyagból származó nitrogén mennyiségeket.

Az eredmények értékelése

A talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalmának változása az érlelés alatt

Az érlelés alatt vett talajminták $\text{NO}_3\text{-N}$ és kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalmára vonatkozó adatokat a 2. táblázat tartalmazza. A kísérlet beállítása utáni 17. napon a talaj kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalma elenyésző, kivéve a szerves anyag + N-műtrágya kezeléseket. A talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma viszont jelentősen megnőtt. Az ammónium-nitrát $\text{NH}_4\text{-N}$ -je már a 17. napon szinte teljes mértékben nitrifikálódott. A szerves anyag lebomlása során viszont csak kis mennyiségben képződött $\text{NO}_3\text{-N}$. A 38. napon és azt követően a 144. napig valamennyi kezelésben további növekedés mutatható ki a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmában. A 165. napon és az utolsó, 248. napon a talaj ásványi nitrogéntartalma lényegesen nem változott, illetve egy kevéssel csökkent.

Mivel az inkubáció alatt a talaj kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalma elenyésző volt és lényegében nem változott, a 3. táblázatban a $\text{NO}_3\text{-N}$ - és a kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ -mennyiségek összegét, a talaj ásványi nitrogéntartalmára vonatkozó adatokat közlöm. Az érlelés folyamán a talaj ásványi nitrogéntartalma a 144. napig szignifikánsan növekedett, a trágya-nitrogén jelentős része még a 248. napon is ásványi N-formában volt kimutatható. A kezelések hatása valamenyny esetben szintén megbízható.

A talaj ásványi N-tartalmának a jelzett műtrágyából és a jelzett szerves anyagból származó mennyisége

A ^{15}N relatív gyakoriság alapján számított értékek a 4. és 5. táblázatban találhatók. Az adatokból megállapítható, hogy a talaj ásványi N-tartalma milyen arányban és mennyiségben származott a jelzett műtrágyából és a bevitt szerves anyagból. Az érlelés 17. napján meghatározott ásványi N-mennyiségnek 77,5%-a, a 38. napon 79,4%-a származott a jelzett ammónium-nitrátból. Az érlelés további szakaszában ez az érték egy kevéssel csökkent. A beadott nitrogén százalékában kifejezett értékek arra mutatnak, hogy az érlelés alatt a talajba adott nitrogénnek 78,1–94,8%-a ásványi N-formában maradt.

Az érlelés folyamán megindult a jelzett szerves anyagok lebomlása, a 17. napon az ásványi N-formában kimutatható nitrogénnek már 39,1–40,1%-a

2. táblázat

A talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ - és kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalmának változása a kezelés hatására
(mg/100 g légszáraz talaj)

(1) Minta- vételi idő, nap	(2) N-forma	(3) Kezelések					
		A) Ø	B) $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	C) NH_4NO_3	Szerves anyag		Szerves anyag + NH_4NO_3
					D) ^{15}N -bab	E) ^{15}N -angol- perje	
						F) ^{15}N -bab	G) ^{15}N -angol- perje
17.	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	2,6
	$\text{NO}_3\text{-N}$	6,0	20,1	30,6	6,2	7,3	31,4
	ΣN	6,1	29,5	30,8	6,4	7,4	34,0
38.	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	1,1
	$\text{NO}_3\text{-N}$	6,7	33,0	31,6	7,3	9,2	35,5
	ΣN	6,9	33,2	32,0	7,5	9,5	36,6
59.	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	$\text{NO}_3\text{-N}$	7,8	33,2	33,5	9,5	11,4	35,5
	ΣN	8,0	33,5	33,8	9,8	11,7	35,8
84.	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,3	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8
	$\text{NO}_3\text{-N}$	9,0	34,4	34,5	11,3	12,9	36,8
	ΣN	9,3	34,9	35,1	11,9	13,6	37,6
103.	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
	$\text{NO}_3\text{-N}$	9,8	36,4	36,0	12,5	13,9	38,3
	ΣN	10,5	36,9	36,6	13,1	14,4	38,8
122.	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
	$\text{NO}_3\text{-N}$	10,0	36,0	35,7	12,6	14,3	38,4
	ΣN	10,4	36,6	36,3	13,2	14,8	38,9
144.	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6
	$\text{NO}_3\text{-N}$	10,8	37,8	37,1	14,6	15,7	40,1
	ΣN	11,3	38,3	37,6	15,1	16,1	40,7
165.	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,5
	$\text{NO}_3\text{-N}$	10,8	36,2	37,7	14,1	15,7	39,0
	ΣN	11,2	36,7	38,3	14,5	16,0	39,5
248.	$\text{NH}_4\text{-N}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
	$\text{NO}_3\text{-N}$	11,6	36,1	36,3	14,8	15,7	42,3
	ΣN	12,0	36,5	36,7	15,2	16,0	42,7

származott a jelzett szerves anyagból, amely a beadott nitrogénnek 25,2—25,9%-a. Az inkubáció alatt a szerves anyag mineralizációjának eredményeként tovább nőtt a szerves anyagból származó — ásványi N-formában kimutatható — N-mennyiség, annak ellenére, hogy a részaránya lényegesen nem változott. A szerves anyaggal bevitt nitrogénmennyiséghez viszonyított érték viszont növekedett, a 248. napon az ásványi N-formában kimutatható nitrogén a szerves anyaggal bevitt nitrogénnek 55,3—61,5%-át adja, vagyis a szerves nitrogénnek több, mint a fele mineralizálódott.

A szerves anyaggal együtt adott N-műtrágya a szerves anyag ásványosodásának mértékét jelentősen növelte. Az ásványi nitrogénben kimutatható szerves anyag nitrogénjének részaránya a 17. napon 15,8—15,9%, az utolsó mintavételnél 18,9—19,6% volt. Az érlelés 17. napján a bevitt szerves nitrogénnek már 48,2—51,4%-a volt ásványi N-formában, ez az érték az érlelés alatt tovább növekedett, és a 248. napon elérte a 75,0—75,6%-ot.

3. táblázat

A talaj ásványi N-tartalmának változása a kezelések hatására
(N mg/100 g légszáraz talaj)

(1) Kezelések	(2) Mintavételi idő, nap									(3) Átlag
	17.	38.	59.	84.	103.	122.	144.	165.	248.	
A) Kontroll	6,1	6,9	8,0	9,3	10,5	10,4	11,3	11,2	12,0	9,5
B) $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	29,5	33,2	33,5	34,9	36,9	36,6	38,3	36,7	36,5	35,1
C) NH_4NO_3	30,8	32,0	33,8	35,1	36,6	36,3	37,6	38,3	36,7	35,3
D) Szerves anyag (^{15}N -bab)	6,4	7,5	9,8	11,9	13,1	13,2	15,1	14,5	15,2	11,9
E) Szerves anyag (^{15}N -angolperje)	7,4	9,5	11,7	13,6	14,4	14,8	16,1	16,0	16,0	13,3
F) Szerves anyag (^{15}N -bab) + + NH_4NO_3	32,3	34,3	35,2	36,1	37,9	37,9	40,0	40,8	39,8	37,1
G) Szerves anyag (^{15}N -angolperje) + NH_4NO_3	34,0	36,6	35,8	37,6	38,8	38,9	40,7	39,5	42,7	38,3
Átlag	20,9	22,9	24,0	25,5	26,9	26,9	28,5	28,1	28,4	25,8

(4)
Variancia táblázat

Tényező	SQ	FG	MQ	F	SzD5%
a) Kezelés	29 073,6	6	4 845,59	10 484,4***	0,4
a) Mintavétel	1 208,7	8	151,09	326,9***	0,4
c) Kölcsönhatás	82,0	48	1,71	3,7***	1,1
d) Hiba	58,2	126	0,46		
e) Összesen	30 422,4	188	161,82		

A két szerves anyag lebomlásának üteme és mértéke között jelentős eltérés nem mutatkozott. A beadott szerves nitrogén százalékában kifejezett értékek között a mintavételek átlagában szignifikáns különbség nem volt kimutatható.

A talaj kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -mennyiségének és az összes N-tartalmának változása a kezelések hatására

Az utolsó mintavételnél, a 248. napon meghatároztuk a talaj kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -mennyiségét és az összes nitrogéntartalmát is. A kapott értékek az érlelés folyamán végbemenő NH_4N fixációról és a N-veszteségekről tájékoztatnak. Az eredményekből kitűnik, hogy a N-műtrágyázás hatására (6. és 7. táblázat) szignifikánsan nőtt a talaj kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -mennyisége. Az önmagában adott szerves anyag nitrogénje a kontrollhoz viszonyítva szintén szignifikáns növekedést eredményezett a talaj kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalmában. A legnagyobb mértékű növekedést az F) és G) kezelésben kaptuk, amikor is a jelzett szerves anyagot ammónium-nitrát vegyülettel együtt alkalmaztuk. Ez esetben a kezelt talajhoz viszonyítva a kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -mennyisége 31,4%-kal nőtt. Az izotópindikáció alapján számított értékek szerint a jelzett ammónium-nitrátból származó kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -mennyisége az összesnek 14,5%-át adja. A jelzett

4. táblázat

A jelzett anyagból származó ásványi N-mennyiség

(1) Minta- vételi idő, nap	(2) Kezelések										(3) Átlag	
	B) ¹⁵ NH ₄ ¹⁵ NO ₃		Szerves anyag				Szerves anyag + NH ₄ NO ₃					
			D) ¹⁵ N bab		E) ¹⁵ N angolperje		F) ¹⁵ N bab		G) ¹⁵ N angolperje			
%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	
17.	77,5	22,9	40,1	2,5	39,1	2,9	15,9	5,1	15,8	5,4	37,7	7,8
38.	79,4	26,3	37,4	2,8	43,0	4,1	17,6	6,0	18,8	6,9	39,2	9,2
59.	74,6	25,0	39,4	3,9	39,6	4,5	17,1	6,0	19,3	6,9	38,0	9,3
84.	73,0	25,5	36,2	4,3	38,3	5,2	17,3	6,2	19,0	7,1	36,7	9,7
103.	70,6	26,1	38,6	5,1	37,7	5,4	17,2	6,5	19,9	7,7	36,8	10,1
122.	71,3	26,0	37,8	5,0	39,2	5,8	17,7	6,7	19,5	7,6	37,1	10,2
144.	72,8	27,8	38,5	5,8	38,4	6,2	18,4	7,3	19,9	8,1	37,6	11,0
165.	69,5	25,5	39,0	5,7	36,6	5,8	18,3	7,5	19,0	7,5	36,5	10,4
248.	70,9	25,9	40,3	6,1	38,8	6,2	18,9	7,5	19,6	8,4	37,7	10,8
Átlag	73,3	25,7	38,6	4,6	39,0	5,1	17,6	6,5	19,0	7,3	37,5	9,8

(4)
Variancia táblázat

Tényező	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
a) Kezelés	8584,1	4	2146,0	5500,5	0,34
b) Mintavétel	119,2	8	14,9	38,2	0,45
c) Kölcsönhatás	23,0	32	0,74	1,9	0,0
d) Hiba	35,1	90	0,39		
e) Összesen	8762,2	134	65,4	CV = 6,4	

szerves anyag esetében ez az érték jóval kisebb, 3,5–4,2%. A N-vegyülettel együtt adott szerves anyag esetében még kisebb a jelzett szerves anyagból származó kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -mennyisége, az összesnek mindössze 1,2–2,1%-a, annak ellenére, hogy abszolút értékben e kezelésekben volt a legnagyobb. Kísérleteinkben a N-műtrágyázás csökkentette a szerves anyagból származó nitrogén megkötését. A bevitt nitrogénmennyiségekhez viszonyított értékek a N-forrástól függően változtak. A jelzett ammónium-nitrátból a bevitt nitrogénnek 9,6%-a, az önmagában adott jelzett növényi maradvány nitrogénjének 6,0–7,1%-a, míg a nitrogénműtrágyával együtt adott jelzett szerves anyag nitrogénjének 3–4,5%-a $\text{NH}_4\text{-N}$ -formában kötődött meg a talajban.

Az összes nitrogénnek a jelzett anyagból származó részét illetően megállapítható, hogy a nitrogéntrágyázás hatására a vizsgált talajon az összes nitrogénnek 16,1%-a származott a bevitt N-vegyületből, míg 5,3–7,6%-a a jelzett szerves anyagból. Az érlelés utolsó napján meghatározott ásványi N- és kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -mennyiségek adataiból, valamint az összes N százalékában kifejezett értékekből kitűnik, hogy a kezelések hatására az ásványi N-mennyiség mind abszolút, mind viszonyított értékekben szignifikánsan növekedett. A kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -mennyisége abszolút értékeket tekintve a kezelések hatására szignifikánsan nőtt, az összes N-százalékában kifejezett értékek esetében csak a jelzett szerves anyag + N műtrágya kezelésekben mutatható ki szignifikáns növekedés.

5. táblázat

A jelzett anyagból származó ásványi N-mennyiség a beadott N %-ában

(1) Kezelés	(2) Mintavételi idő, nap									(3) Átlag
	17.	38.	59.	84.	103.	122.	144.	165.	248.	
B) $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	78,1	89,7	85,3	87,0	89,0	88,7	94,8	87,0	88,4	87,6
D) Szerves anyag (^{15}N -bab)	25,2	28,2	39,3	43,3	51,4	50,4	58,5	57,4	61,5	46,1
E) Szerves anyag (^{14}N -angolperje)	25,9	36,6	41,1	46,4	48,2	51,8	55,3	51,8	55,3	45,8
F) Szerves anyag (^{51}N -bab) + + NH_4NO_3	51,4	60,5	60,5	62,5	65,5	67,5	73,6	75,6	75,6	65,9
G) Szerves anyag (^{15}N -angolperje) + NH_4NO_3	48,2	61,6	61,6	63,4	68,7	67,0	72,3	67,0	75,0	65,1
Átlag	45,8	55,3	57,6	60,5	64,6	65,3	70,9	67,8	71,2	62,1

 (4)
Variancia táblázat

Tényező	SQ	FG	MQ	F	SzD ₅ %
a) Kezelés	32 342,1	4	8 085,52	418,7	2,4
b) Mintavétel	8 046,0	8	1 005,75	52,1	3,2
c) Kölesönhatás	1 751,2	32	54,72	2,8	7,1
d) Hiba	1 737,8	90	19,31		
e) Összesen	43 877,1	134	327,44	CV = 7,1	

6. táblázat

 A jelzett anyagból származó kötött $\text{NH}_4\text{—N}$ és összes N-mennyisége az érlelés 248. napján

(1) Kezelés	(2) Kötött NH ₄ -N				(3) Összes N			(4) N-hiány vagy többlet mg/100 g talaj
	g mg/100 talaj	jelzett anyag- ból származó		a be- adott N %- ában	g mg/100 talaj	jelzett anyagból származó		
		%	mg			%	mg	
A) Kontroll	16,7	—	—	—	144,6	—	—	—
B) ¹⁵ NH ₄ ¹⁵ NO ₃	19,8	14,5	2,9	9,6	173,8	16,1	28,0	-1,31
C) NH ₄ NO ₃	19,4	—	—	—	172,8	—	—	—
D) Szerves anyag (¹⁵ N-bab)	17,3	3,5	0,6	6,0	155,8	5,3	8,3	-1,62
E) Szerves anyag (¹⁵ N-angolperje)	18,7	4,2	0,8	7,1	155,0	7,6	11,8	+0,60
F) Szerves anyag (¹⁵ N-bab) + NH ₄ NO ₃	21,9	1,2	0,3	3,0	179,6	6,0	10,8	+0,88
G) Szerves anyag (¹⁵ N-angolperje) + + NH ₄ NO ₃	23,1	2,1	0,5	4,5	181,6	5,9	10,7	-0,50

7. táblázat

Az ásványi N és a kötött $\text{NH}_4\text{—N}$ az összes N %-ában kifejezve az érlelés 248. napján

(1) Kezelés	(2) Összes N mg/100 g talaj	(3) Ásványi N		(4) Kötött $\text{NH}_4\text{—N}$		
		mg/100 g talaj	az összes N %-ában	mg/100 g talaj	az összes N %-ában	
A) Kontroll	144,6	12,0	8,3	16,7	11,5	—
B) $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	173,8	36,5	21,0	19,8	11,4	—0,1
C) NH_4NO_3	172,8	36,7	21,2	19,4	11,2	—1,4
D) Szerves anyag (^{15}N -bab)	155,8	15,2	9,8	17,3	11,1	+1,3
E) Szerves anyag (^{15}N -angolperje)	155,0	16,0	10,3	18,7	12,0	—0,8
F) Szerves anyag (^{15}N -bab) + NH_4NO_3	179,6	39,8	22,2	21,9	12,2	—4,5
G) Szerves anyag (^{15}N - angolperje) + NH_4NO_3 SzD _{5%}	181,6	42,7 2,3	23,5 1,2	23,1 0,5	12,7 0,3	—3,8

A táblázatok adataiból az is megállapítható, hogy a több hónapos érlelés alatt a N-veszteség elenyésző volt, az esetek többségében a két módszerrel a talajba adott N-mennyiségeket visszakaptuk.

Összefoglalás

A nitrogénműtrágya transzformációjának és a szerves N mineralizációjának tanulmányozására érleléses tenyészedény modellkísérletet állítottunk be csernozjom jellegű barna erdőtalajon. A kísérletben ^{15}N -jelzett ammónium-nitrátot és szerves anyagként jelzett angolperjét és babszárat alkalmaztunk. Az érlelés során mintát vettünk és meghatároztuk a talaj $\text{NO}_3\text{—N}$ - és kicserélhető $\text{NH}_4\text{—N}$ -tartalmát. A talajminták kicserélhető $\text{NH}_4\text{—N}$ -tartalma mindvégig elenyésző volt, a $\text{NO}_3\text{—N}$ -tartalom viszont az érlelés alatt jelentősen növekedett.

A trágya-nitrogén jelentős része még az utolsó mintavételnél is ásványi N-formában maradt. A szerves anyag mineralizációja során felszabadult nitrogén a talaj ásványi N-tartalmát szintén növelte, a 17. napon a szerves anyaggal beadott nitrogénnek 25,2—25,9%-a, az utolsó mintavételnél a 248. napon 55,3—61,5%-a ásványi N-formában volt kimutatható.

A szerves anyag ásványosodását a N-trágya jelentős mértékben elősegítette, már a 17. napon bevitt szerves nitrogénnek a felét, az utolsó mintavételnél a 75—75,6%-át mutattuk ki ásványi N-formában. A két szerves anyag lebomlásának mértéke és üteme azonos volt, és a beadott szerves nitrogén százalékában kifejezett értékek között a mintavételek átlagában szignifikáns különbség nem mutatható ki.

A N-trágyázás és a szerves anyag növelte a talaj kötött $\text{NH}_4\text{—N}$ -tartalmát, a legnagyobb mértékű növekedés a szerves anyag + N-trágyázás együttes hatására történt.

A jelzett ammónium-nitrát nitrogénjének 9,6%-a, az önmagában adott jelzett szerves anyag nitrogénjének 6,0—7,1%-a, míg az ammónium-nitráttal

együtt adott szerves N-nek mindössze 3—4,5%-a kötődött meg $\text{NH}_4\text{-N}$ -formában a talajban.

A kezelések hatása a talaj összes N-tartalmában kimutatható. A kezelések hatására az ásványi N-mennyiség mind abszolút, mind az összes N-százalékában kifejezett értéket tekintve szignifikánsan nőtt. A kötött $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalom abszolút mennyiségben szintén növekedett, viszont az összes N-hez viszonyított értéket tekintve, hasonló tendencia csak a szerves anyag + N-műtrágya kezeléseknél mutatkozott megbízhatóan.

A kémiai módszerekkel továbbá az izotópindikációval kapott értékek arra mutatnak, hogy a N-veszteség az érlelés folyamán elenyésző volt, és az alkalmazott módszerek alkalmasak a nitrogén átalakulási folyamatainak a vizsgálatára.

Irodalom

- [1] BREMNER, J. M.: The nitrogenous constituents of soil organic matter and their role in soil fertility. „Semaine D' Etude Sur le Theme Matiere Organique et Fertilité Du Sol 22—27 avril 1968. Pontifical Academiae Scientiarum Scripta Varia”. 143—185. 1968.
- [2] BREMNER, J. M. & KEENEY, D. R.: Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. **30**. 577—587. 1966.
- [3] BREMNER, J. M. & SHAW, K.: Denitrification in soil. I. Methods of investigation. J. Agric. Sci. **51**. 22—39. 1958.
- [4] CSEREPKOV, N. I.: Ob ispol'zovanii azota iz szovmesztno primenennüh rasztitel'nüh osztatkov i mineral'nüh udobrenij. Agrohimiya. (11) 31—34. 1969.
- [5] KOCSEGAROVA, N. F.: Vlijanie azotnüh udobrenij i rasztitelnüh osztatkov na prevrascsenije azota v pocve i ispol'zovanije egro asztenijami. (Primenenije stabilnogo izotopov ^{15}N v isledovanijah po zemledeliju. IV-e Vseszojuznoe Koordinacionnoe naucsno-metodiceszkoe szovescsanie) Tbiliszi 57. 1979.
- [6] KORENKOV, D. A.: Agrohimiya azotnüh udobrenij. Izd. „Nauka”. Moszkva. 1976.
- [7] NORMAN, A. G.: The use of isotopes in soil organic matter studies: A Survey. Semaine D'Etude sur le Theme Matière Organique et Fertilité Du Sol, 22—27 avril 1968. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia. Cité de Vatican. 89—101. 1968.
- [8] NORMAN, A. G. & WERKMAN, C. H.: The use of nitrogen isotope ^{15}N in determining nitrogen recovery from plant materials decomposing in soils. J. Amer. Soc. Agron. **35**. 1023—1025. 1943.
- [9] SILVA, J. A. & BREMNER, J. M.: Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 5. Fixed ammonium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **30**. 587—594. 1966.
- [10] SZMIRNOV, P. M. & SILOVA, E. I.: Immobilizacija azota v pocve pri vneszenii mecse-nüh ^{15}N udobrenij i rasztitel'nüh osztatkov. Izv. TSzHA. (6) 92—100. 1970.
- [11] SZUKOV, A. A.: Balansz azota rasztitelnüh osztatkov nekotórüh kultur v dernovo-podzolisztój pocve. (Primenenije stabilnogo izotopo- ^{15}N v isledovanijah po zemledeliju. (IV-e Vseszojuznoe Koordinacionnoe naucsno-metodiceszkoe szovescsanie) Tbiliszi 58. 1979.
- [12] YONEYAMA, T. & YOSHIDA, T.: Decomposition of rice residue in tropical soils. I. Nitrogen uptake by rice plants from straw incorporated, fertilizer (ammonium-sulfate) and soil. II. Immobilization of soil and fertilizer nitrogen by intact rice residue in soil. Soil Sci. Plant Nutr. **23**. 33—40., 41—48. 1977.

Érkezett: 1979. július 6.

**Investigations on the Transformation of N-Fertilizer and the
Mineralisation of Organic N Using ^{15}N . I.
The Transformation of N in Chernozem-type Brown Forest Soils in a
Model Experiment**

I. LATKOVICS

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

A composting experiment was set up on chernozem-type brown forest soil to investigate the transformation of nitrogen fertilizer and the mineralisation of organic N. For the average soil sample from the ploughed layer the pH value was 7.1, the mineral N content 2.85 mg, the fixed ammonium content 15.98 mg and the total N 140.8 mg/100 g soil. The humus content was 1.91 %. In the experiment ^{15}N labelled ammonium nitrate was used, and, as ^{15}N labelled organic matter, ground, air-dried rye-grass and bean stalks and with approximately the same N content as the 0.4% of the soil quantity measured. The plants were preliminarily raised in a pot experiment using ^{15}N labelled N-fertilizer. The soil moisture content was maintained at 60% of the full water capacity. The pots were sealed and placed in a thermostat for composting at 30°C.

During composting samples were taken and the $\text{NO}_3\text{—N}$ and exchangeable $\text{NH}_4\text{—N}$ contents of the soil were determined. The exchangeable $\text{NH}_4\text{—N}$ content of the soil samples was consistently negligible, while the $\text{NO}_3\text{—N}$ content of the soil considerably increased during composting. A significant proportion (88.4%) of the fertilizer nitrogen remained in mineral N form right up to the last sampling on the 248th day. The nitrogen liberated during the mineralisation of organic matter also increased the mineral N content of the soil; on the 17th day 25.2—25.9% of the nitrogen added as organic matter could be identified in mineral N form, and by the last sampling on the 248th day 55.3—61.5%, i.e. more than half the organic nitrogen, had mineralised.

N-fertilizer considerably enhanced the decomposition of organic matter. On the 17th day half, and at the last sampling 75.0—75.6% of the organic matter added was identified in mineral N form. The degree and rate of mineralisation of the two sources of organic matter was identical and, averaged over the samplings, no significant difference could be observed between the values expressed as a percentage of the organic nitrogen added.

N-fertilization and organic matter increased the fixed ammonium content of the soil. The greatest increase was achieved due to the combined effect of organic matter + N-fertilization.

9.6% of the nitrogen of ^{15}N labelled ammonium nitrate, 6.0—7.1% of the nitrogen of ^{15}N labelled organic matter added alone, and only 3.0—4.5% of the organic nitrogen added in combination with ammonium nitrate was fixed in the form of $\text{NH}_4\text{—N}$ in the soil. In these experiments the N-fertilization reduced the fixation of nitrogen derived from organic matter.

The effect of the treatments on the total N-content of the soil can also be demonstrated. The mineral N content increased significantly as regards both the absolute amount and when expressed as a percentage of total nitrogen. The absolute amount of fixed ammonium increased, but the value as a proportion of total nitrogen only increased significantly in the organic matter + N-fertilizer treatments.

The values obtained by chemical methods and isotope indication show that the N-loss during composting was negligible and that the methods tested are suitable for the investigation of the transformation processes of nitrogen.

Table 1. Treatments used in the experiment. (1) Treatments: A) Control; B) $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$; C) NH_4NO_3 ; D) Organic matter 0.4% (^{15}N -bean); E) Organic matter 0.4% (^{15}N -rye-grass); F) Organic matter 0.4% (^{15}N -bean) + NH_4NO_3 ; G) Organic matter 0.4% (^{15}N -rye-grass) + NH_4NO_3 . (2) N quantity per source and totally, mg/100 g soil. (3) Excess ^{15}N (at. %).

Table 2. Change in $\text{NO}_3\text{—N}$ and exchangeable $\text{NH}_4\text{—N}$ content of the soil (mg/100 g air-dried soil). (1) Date of sampling, day. (2) N source. (3) Treatments: A—G, see Table 1.

Table 3. Change in mineral N content of the soil (N mg/100 g air-dried soil). (1) Treatments: A–G, see Table 1. (2) Date of sampling, day. (3) Mean. (4) Table of variance: a) Treatment; b) Sampling; c) Interaction; d) Error; e) Total.

Table 4. N derived from labelled material (% and mg). (1) Date of sampling, day. (2) Treatments: B, D–G, see Table 1. (3) Mean. (4) Table of variance: see Table 3.

Table 5. Amount of mineral N derived from the labelled material as a % of added N. Legends: see Table 3.

Table 6. Amount of fixed $\text{NH}_4\text{—N}$ and total N derived from the labelled material on the 248th day of composting. (1) Treatments: see Table 1. (2) Fixed $\text{NH}_4\text{—N}$: mg/100 soil, % and mg derived from the labelled material and as a % of added N. (3) Total N: mg/100 g soil and % and mg derived from labelled material. (4) N loss or gain, mg/100 g soil.

Table 7. Mineral N and fixed $\text{NH}_4\text{—N}$ expressed as % total N on the 248th day of composting. (1) Treatments. (2) Total N mg/100 g soil. (3) Mineral N mg/100 g soil and as a % of total N. (4) Fixed $\text{NH}_4\text{—N}$ mg/100 g soil and as a % of total N. (5) loss or gain, mg/100 g soil.

Studien über die Transformation des N-Mineraldüngers und die Mineralisation des organischen Stickstoffes mit Hilfe des stabilen Isotopes ^{15}N . I.

Transformation der N-Formen eines Tschernosem braunen Waldbodens im Modellversuch

I. LATKOVICS

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest

Zusammenfassung

Zur Untersuchung des Problems wurde ein Inkubationsmodellversuch mit einem Tschernosem braunen Waldboden durchgeführt. Die aus der Ackerkrume stammende Bodenprobe hatte die folgenden Kennwerte: $\text{pH} = 7,1$, mineralischer N-Gehalt = 2,85 mg, Menge des gebundenen $\text{NH}_4\text{—N}$ -s = 15,98 mg, gesamter N-Gehalt 140,8 mg auf 100 g Boden berechnet, Humusgehalt = 1,91%. Als N-Quellen dienten mit ^{15}N markiertes Ammoniumnitrat, sowie lufttrockenes, gemahlenes, mit ^{15}N markiertes Weidelgras und Bohnenstengel. Letztore organische Stoffe wurden in ungefähr 0,4% der eingewogenen Bodenmenge und mit ungefähr dem gleichen N-Gehalt angewendet. Die Pflanzen wurden in einem mit ^{15}N markierten Dünger behandeltem Gefäßversuch gezogen. Der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens wurde bei 60% der gesamten Wasserkapazität gehalten. Die abgeschlossenen Gefäße wurden in einem Thermostat bei 30 °C inkubiert.

Im Laufe der Inkubation wurden Proben genommen, in welchen der $\text{NO}_3\text{—N}$ - und der austauschbare $\text{NH}_4\text{—N}$ -Gehalt bestimmt wurde. Der austauschbare $\text{NH}_4\text{—N}$ -Gehalt war während der ganzen Inkubation sehr gering, der $\text{NO}_3\text{—N}$ -Gehalt dagegen stieg beträchtlich an.

Der überwiegende Teil des Dünger-N-s (88,4%) behielt bis zur letzten Probenahme (am 248sten Tag) seine mineralische N-Form. Das infolge der Mineralisation des organischen Stoffes freigewordene N erhöhte ebenfalls den mineralischen N-Gehalt des Bodens. Am 17. Tag nach Beginn der Inkubation konnten 25,2–25,9% des mit dem organischen Stoff gegebenen N-s, am 248. Tag schon 55,3–61,5% desselben in mineralischer Form nachgewiesen werden, d. h. mehr als die Hälfte des organischen Stickstoffes wurde im Laufe der Inkubation mineralisiert.

Der N-Dünger hat den Abbau des organischen Stoffes in bedeutendem Masse gefördert: von dem gegebenen organischen Stickstoff wurde am 17. Tag bereits die Hälfte, bei der letzten Probenahme 75,0–75,6% in mineralischer Form bestimmt. Das Ausmass und die Geschwindigkeit der Mineralisierung war bei beiden organischen Stoffen gleich und unter den in Prozenten des gegebenen organischen Stickstoffes ausgedrückten Werten war im Durchschnitt aller Probenahmen kein signifikanter Unterschied nachzuweisen.

Die N-Düngung und die organischen Stoffe haben den gebundenen $\text{NH}_4\text{—N}$ -Gehalt des Bodens erhöht, die grösste Steigerung bewirkte der organische Stoff + die N-Düngung.

9,6% des N-Gehaltes des markierten Ammoniumnitrats und 6,0—7,1% des N-Gehaltes des in sich gegebenen markierten organischen Stoffes wurde im Boden in der Form von $\text{NH}_4\text{-N}$ gebunden, während in der Variante Ammoniumnitrat + organischer Stoff nur 3,0—4,5% des organischen Stickstoffes in $\text{NH}_4\text{-Form}$ gebunden zurückblieb. Die N-Mineraldüngung hat in unserem Versuch die Bindung des aus dem organischen Stoff stammenden Stickstoffes herabgesetzt.

Auch die Wirkung der Behandlungen (Varianten) kann im gesamten N-Gehalt des Bodens nachgewiesen werden. Die Menge des mineralischen Stickstoffes hat sowohl in seinem absoluten Wert, wie auch in %-ten des gesamten Stickstoffes ausgedrückt signifikant zugenommen. Der gebundene $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt hat in absoluter Menge zugenommen, verglichen mit dem gesamten N-Gehalt war dieser Zuwachs aber nur in den Varianten »organischer Stoff + N-Dünger« zuverlässig.

Die sowohl mit den chemischen Methoden, als auch mit der Isotopenindikation gewonnenen Werte weisen darauf hin, dass der N-Verlust im Laufe der Inkubation verschwindend klein war und die angewendeten Methoden zur Untersuchung der N-Umwandlungsprozesse geeignet sind.

Tab. 1. Varianten des Versuches. (1) Varianten: A) Unbehandelt; B) $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$; C) NH_4NO_3 ; D) 0,4% des organischen Stoffes, (mit N^{15} markierte Bohnenstengel); E) 0,4% des organischen Stoffes (mit N^{15} markiertes Weidelgras); F) 0,4% des organischen Stoffes (Bohnenstengel- N^{15} + NH_4NO_3 ; G) 0,4% des organischen Stoffes (Weidelgras- N^{15} + NH_4NO_3 . (2) N-Menge je nach N-Quelle und gesamtes N, mg N/100 g Boden. (3) ^{15}N Atom%.

Tab. 2. Veränderungen im $\text{NO}_3\text{-N}$ - und im austauschbaren $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt des Bodens infolge der Behandlungen (mg/100 g lufttrockener Boden). (1) Zeitpunkt der Probenahme, Tag. (2) N-Quelle. (3) Behandlungen (Varianten) s. unter Tab. 1. A)–G).

Tab. 3. Veränderung des mineralischen N-Gehaltes des Bodens infolge der Behandlungen. (mg N/100 g lufttrockener Boden). (1) Varianten: s. unter Tab. 1. A)–G). (2) Zeitpunkt der Probenahme, Tag. (3) Mittelwert. (4) Varianztabelle: a) Variante; b) Probenahme; c) Wechselwirkung; d) Fehler; e) Insgesamt.

Tab. 4. Die aus dem markierten Stoff stammende N-Menge. (% und mg). (1) Zeitpunkt der Probenahme, Tag. (2) Varianten: s. unter Tab. 1. B) und D)–G). (3) Mittelwert. (4) Varianztabelle: s. unter Tab. 3.

Tab. 5. Die aus dem markierten Stoff stammende N-Menge in % des gegebenen Stickstoffes. Bezeichnungen: s. unter Tab. 3.

Tab. 6. Die aus dem markierten Stoff stammende Menge des $\text{NH}_4\text{-N}$ -s und des gesamten N-s am 248sten Tag der Inkubation. (1) Varianten: s. unter Tab. 1. (2) Gebundenes $\text{NH}_4\text{-N}$: mg/100 g Boden, mg/markierte Stoffmenge, sowie in % des markierten Stoffes und des gegebenen Stickstoffes. (3) Gebundenes N: mg/100 g Boden, mg/markierte Stoffmenge und in % des markierten Stoffes. (4) N-Mangel oder N-Überschuss, mg/100 g Boden.

Tab. 7. Menge des mineralischen N-s und des gebundenen $\text{NH}_4\text{-N}$ -s in % des gesamten Stickstoffes am 248sten Tag der Inkubation. (1) Varianten. (2) Gesamtes N mg/100 g Boden. (3) Mineralisches N mg/100 g Boden und in % des gesamten Stickstoffes. (4) Gebundenes $\text{NH}_4\text{-N}$ mg/100 g Boden und in % des gesamten Stickstoffes. (5) N-Mangel oder N-Überschuss, mg/100 g Boden.

Изучение трансформации азотных минеральных удобрений и минерализации органического азота методом мечения стабильным изотопом ^{15}N . I.

Изучение в модельных опытах изменения форм азота в черноземовидной бурой лесной почве

И. ЛАТКОВИЧ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт

Резюме

На черноземовидной бурой лесной почве заложили модельные опыты с инкубированием в целях изучения трансформации азотного минерального удобрения и минерализации органического азота. Некоторые показатели для среднего образца пахотного горизонта почвы: рН — 7,1; содержание минерального азота — 2,85 мг при общем содержании азота 140,8 мг/100 г почвы. Содержание гумуса 1,91%. В опыте в качестве минерального удобрения использовали меченный ^{15}N нитрат аммония, а в качестве органического вещества воздушно сухие, размолотые, меченные ^{15}N английский райграсс и стебли фасоли, содержащие примерно равное количество азота и вносимые в количестве, составляющем 0,4% от веса почвы. Растения предварительно выращивали в вегетационных сосудах с внесением меченного азотного минерального удобрения. Влажность почвы поддерживали на уровне 60% от полной влагоемкости. Закрытые сосуды помещали в термостат и выдерживали при температуре 30°C.

В ходе инкубирования брали образцы для определения содержания в почве NO_3-N и обменного NH_4-N . Содержание обменного NH_4-N в образцах до конца опыта оставалось ничтожным, содержание NO_3-N значительно возросло.

Основательная часть азота минерального удобрения — 88,4% — даже при последнем взятии образцов, на 248 день, оставалась в минеральной форме. Азот, освободившийся при минерализации органического вещества, также увеличил содержание в почве минерального азота, на 17 день 25,2—25,9% азота, внесенного с органическим веществом, находилось в минеральной форме, на 248 день, при последнем взятии образцов, это составляло 55,3—61,5%, т. е. минерализовалась почти половина органического азота.

Азотные минеральные удобрения в значительной мере способствовали разложению органического вещества, на 17 день половина внесенного органического азота, а на 248 день 75,0—75,6% его находились в форме минерального азота. Размер и темп минерализации двух органических веществ были одинаковыми и в среднем по отдельно взятым образцам не наблюдали достоверной разницы между величинами, выраженными в процентах от внесенного органического азота.

Внесение азотных минеральных удобрений и органического вещества увеличило содержание в почве связанного NH_4-N , самое большое увеличение наблюдали под влиянием комплексного внесения органического вещества и азотных минеральных удобрений.

В почве, в форме NH_4-N связалось 9,6% азота меченного нитрата аммония, 6,0—7,1% азота меченного органического вещества и 3,0—4,5% азота органического вещества при его совместном внесении с азотным минеральным удобрением. В опытах минеральное удобрение уменьшило связывание азота органического вещества.

Влияние вариантов сказалось и на общем содержании азота в почве. Достоверно увеличилось количество минерального азота как в абсолютном, так и в относительном значении. Абсолютное содержание связанного NH_4-N значительно увеличилось, а при выражении его содержания в процентах от общего азота достоверное увеличение наблюдали только на вариантах с внесением органического вещества и минеральных удобрений.

Результаты полученные химическими методами и методом изотопного мечения указывают на то что потери азота, происходящие в ходе инкубирования почвы, незначительны и что примененные методы в полной мере пригодны для изучения процессов превращения азота в почве.

Табл. 1. Варианты использованные в опыте (1) Варианты: А) Контроль; В) $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$; С) $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$; D) Органическое вещество 0,4% (^{15}N — фасоль); Е) Органическое вещество 4% (^{15}N - райграсс английский); F) Органическое вещество 4% (^{15}N -фасоль) + $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$; G) Органическое вещество 0,4% (^{15}N - райграсс английский) + $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$; (2)

Количество азота по отдельным источникам этого элемента и всего в мг/100 г почвы. (3) ^{15}N атом %.

Табл. 2. Изменение содержания в почве $\text{NO}_3\text{—N}$ и обменного $\text{NH}_4\text{—N}$ под влиянием вариантов (мг/100 г воздушносухой почвы). (1) Время взятия образцов, день. (2) Источник азота. (3) Варианты: от А до G смотри в таблице 1.

Табл. 3. Изменение содержания в почве минерального азота под влиянием вариантов (азот в мг/100 г воздушносухой почвы). (1) Варианты: от А до G смотри в таблице 1. (2) Время взятия образцов, день. (3) Среднее. (4) Вариационная таблица: а) Вариант; б) Взятие образцов; с) Взаимодействие; d) Ошибка; е) Всего.

Табл. 4. Количество азота из меченного вещества (% и мг). (1) Время взятия образцов, день. (2) Варианты: В, D—G смотри в таблице 1. (3) Среднее. (4) Вариационная таблица: смотри таблицу 3.

Табл. 5. Минеральный азот, происходящий из меченного вещества, в процентах от внесенного азота. Обозначения смотри в таблице 3.

Табл. 6. Связанный $\text{NH}_4\text{—N}$ из меченного вещества и общее количество азота на 248 день инкубирования. (1) Варианты: смотри в таблице 1. (2) Адсорбированный $\text{NH}_4\text{—N}$: в мг/100 г почвы, из меченного вещества в % и мг, а также в % от внесенного азота. (3) Общий азот: мг/100 г почвы и происходящий из меченного вещества % и мг. (4) Недостаток или избыток азота, мг/100 г почвы.

Табл. 7. Минеральный азот и связанный $\text{NH}_4\text{—N}$ в процентах от общего азота на 248 день инкубирования. (1) Варианты. (2) Общий азот в мг/100 г почвы. (3) Минеральный азот в мг/100 г почвы и в процентах от общего азота. (4) Связанный $\text{NH}_4\text{—N}$ в мг/100 г почвы и в процентах от общего азота. (5) Недостаток или избыток азота, в мг/100 г почвы.